

# コンクリートの圧裂試験に関する基礎研究

## FUNDAMENTAL STUDIES ON SPLITTING TENSILE STRENGTH TESTS OF CONCRETE

町 田 篤 彦\*

By Atsuhiko MACHIDA

### 1. 序

圧裂試験は、他の方法に比して多くの利点を有するので、コンクリートの引張強度を試験する標準試験方法として、各国の規準に取り入れられている<sup>1)~3)</sup>。この試験方法を大別すると、横にねかせた供試体を直接上下から載荷する方法と、供試体と試験機の加圧盤の間に分布板をはさんで載荷する方法の二種類に分類される。これらの方法は、広く実用に供されているが、いずれにも、解明すべき、いくつかの問題点が残されている。

すなわち、分布板を用いない圧裂試験では、供試体の加圧部は供試体全体が破壊する以前に破壊すると考えられるが、これが供試体の応力分布状況、供試体の破壊ならびに試験結果、等に及ぼす影響は、早急に解明すべき重要な問題点である。分布板を用いる圧裂試験の問題点もこれと表裏一体をなすものであって、分布板の使用が上記諸事項に及ぼす影響は解明を急がれる問題点である。また、圧裂試験によって引張強度が求められるためには、材料の特性に限界があると考えられるが、この適用限界を明らかにすることは、実用上きわめて重要である。圧裂試験におけるこれらの問題点は、すでに公表した筆者の研究成果によりある程度解明されたが<sup>4)</sup>、なお、不十分な点が残されているのである。

本研究は、これらの問題点をさらに明快に解明しようとして行った研究をとりまとめたものであって、供試体の破壊の進行状況を高速度撮影によって詳細に検討し、供試体における応力分布状況の測定結果ならびに破壊直前におけるひびわれ発生状況の観察結果、等とあわせて、圧裂試験における供試体の破壊現象の解明を試みるとともに、これをもとに上記の諸問題について論じ、さらに、引張強度の圧縮強度に対する比が通常のコンクリートにおけるそれより大きな材料について各種の強度試

験を行って、圧裂試験の適用限界を明らかにしようとしたものである。

本研究は東京大学審査学位論文の一部を要約したものであって、これの実施にあたっては、国分正胤先生より終始ご懇篤なるご指導を賜り、樋口芳朗先生より、暖いご指導と適切にご示唆を賜った。また、岡村 甫先生には適切にご助言をいただいた。実験の実施および結果の整理にあたっては、佐藤昭七郎氏をはじめとする埼玉大学建設基礎工学科職員の方々より、熱心にご協力をいただいた。なお、本研究に対しては、土木学会より昭和46年度吉田研究奨励金を受け、研究の機会を与えられた。

ここに、謹んで厚くお礼申上げる次第です。

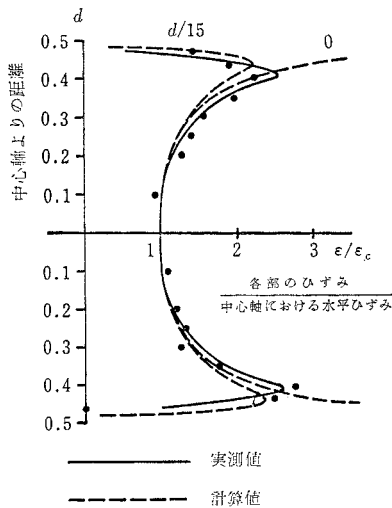
### 2. 破壊直前までの荷重段階における供試体の挙動

分布板を用いない圧裂試験における供試体の挙動に関しては、すでに公表した、載荷中の供試体におけるひずみ性状の試験結果、弾性論に基づいて計算したひずみ分布と試験で得られたひずみ分布との比較検討、破壊寸前まで載荷した供試体におけるひびわれ発生状況の観察結果等により相当の事項が明らかになった。これらの事項を略述すれば、以下のようである。

#### (1) 供試体の応力分布

圧裂試験中の供試体の端面において、供試体の中心軸を含む鉛直面（以下、混乱がない限り載荷面という）に沿う面直角方向の引張ひずみを測定し、弾性論による計算値と比較した<sup>5),6)</sup>。この結果、測定したひずみは、集中求心線荷重が載荷されるとした場合の計算値とは一致せず、むしろ、破壊荷重の80%程度の荷重段階まで、円周上で供試体直径の $1/15(d/15)$ の分布幅を有する等分布求心荷重が載荷されるとした場合の計算値によく一致することが認められた（図—1参照）。これは、供試

\* 正会員 工博 埼玉大学助教授 工学部建設基礎工学科



図一 分布板を用いない圧裂試験における供試体の載荷面上の水平ひずみの実測値ならびに計算値

体側面と試験機の加圧盤との接線（以下、載荷点という）における鉛直方向の大きな圧縮応力によってこの近傍が局部的に破壊し、荷重がこの局部破壊の幅に対応する分布幅をもつ分布荷重となるためと考えられる。すなわち、局部破壊によって荷重が集中的に作用し得ないため、供試体のひずみも分布荷重が作用する場合の分布状態となると考えられるのであって、この実験結果は、供試体の応力状態も、局部破壊の幅に相当する分布幅の等分布求心荷重が作用する場合の弾性論による理論応力に近いことを明示するものである。

弾性論によれば、このような載荷状態の場合、供試体の鉛直面における面に直角方向の引張応力は面全域にわたって一様とはならず、加圧部に近いある点から加圧部に向うに従って次第に減少して、ついには圧縮応力となる。しかし、荷重の分布幅が  $d/15$  程度であれば、供試体の中心軸  $\sim 0.35d$  の範囲では、この引張応力は一定とみなしてよく、中心軸を含む鉛直面以外の点における応力状態も、この範囲で、集中荷重が作用する場合とほとんど変化がない。したがって、分布板を用いない圧裂試験の場合、破壊荷重の 80% 程度までは、供試体の大部分に集中荷重が作用する場合の理論応力に近い応力が生じていると考えられる。

以上は、荷重が破壊荷重の 80% 程度以下の段階にある場合について述べたものであるが、破壊荷重の 90~95% の荷重段階に至っても、供試体の中心軸  $\sim 0.4d$  の範囲においては、実測したひずみ分布は、計算値となおよい一致を示した。したがって、この荷重段階に至っても、供試体の中心部分は弾性的に挙動するのであり、応力分布も、これより前の荷重段階におけるそれと大差な

いものと考えられる。しかし、 $0.4d$ ~載荷点の範囲におけるひずみ分布は、この荷重段階では、もはや計算値とのよい一致を示さず、荷重の増加に対するひずみの増加の割合が増大した。これは、載荷点における局部破壊がひずみゲージを貼付した位置に及んだためと考えられる。

荷重がさらに増大すると、(2) で述べる事項により、供試体の中心軸  $\sim 0.4d$  の範囲にも、ひびわれが発生すると考えられる。微小ひびわれが発生すれば、それまでこの部分で受持たれていた引張応力は他の部分に再分配されることになるから、この部分における局所的な応力状態は相当に複雑となる。すなわち、荷重が破壊荷重の 90~95% を越えれば、供試体の中心部分の挙動も非弾性的となり、供試体のある範囲における平均的な応力状態を考えても、弾性論によるものとはある程度は相違するようになると推定されるのである。

(2) 破壊直前の供試体におけるひびわれ発生状況

破壊に至る寸前の供試体の挙動を明らかにする目的で破壊直前まで載荷して除荷した供試体について、その端面に発生している微小ひびわれを、顕微鏡を用いて観察した。この結果、載荷点近傍には、載荷面にほぼ平行な短いひびわれが数多く発生しているが、これらは載荷点付近に留って、中心部に向って進行している様子は認められず、中心部には、これらと独立に、載荷面に近くこれとほぼ平行な比較的長いひびわれが発生していることが認められた。載荷点付近に数多くのひびわれが発生するにもかかわらずこれが中心部に向って進展しにくいのは、載荷点の局部破壊によって荷重が分布荷重となるため、載荷面直角方向の応力が載荷点に近い部分

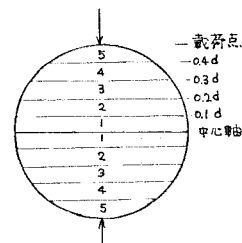
表一 破壊直前の供試体におけるひびわれ状況

区分	破壊直前のひびわれ数*	左のうち破壊ひびわれに一致した数**
① 中心軸 $\sim 0.1d$	26 個 (22%)	14 個 (54%)
② $0.1 \sim 0.2d$	18 個 (15%)	9 個 (50%)
③ $0.2 \sim 0.3d$	22 個 (18%)	11 個 (50%)
④ $0.3 \sim 0.4d$	22 個 (18%)	8 個 (36%)
⑤ $0.4d$ ~載荷点	33 個 (27%)	7 個 (21%)
合計	121 個 (100%)	49 個 (40%)

\* 下図参照

\* ( ) 内の数値は、全体に対する百分率を示す。

\*\* ( ) 内の数値は、破壊直前のひびわれ数のうち破壊ひびわれに一致した数の百分率を示す。



で圧縮応力となることによると考えられる。すなわち、載荷点付近でひびわれが発生しても、この圧縮応力によって中心部への進展がさまたげられるものと考えられるのであって、これらのひびわれが破壊の発端となる可能性は少ないものと思われる。

これらをさらに確めるため、供試体を再度載荷して破壊に至らしめ、供試体端面において破壊時に発生したひびわれ（以下、破壊ひびわれという）を求めて、破壊直前のひびわれのうちこれと一致したものを選び出した。この結果、載荷点付近に生じていたひびわれで破壊ひびわれに一致するものより、中央部分のひびわれが破壊ひびわれに一致する割合が高いことが認められた（表-1参照）。これは、供試体は中央部分の微小ひびわれが進展することによって破壊に至ることを示すものであって、載荷点付近は破壊の発端とはなりにくいという上述の議論を裏付けるものである。

### 3. 圧裂試験における供試体の破壊性状

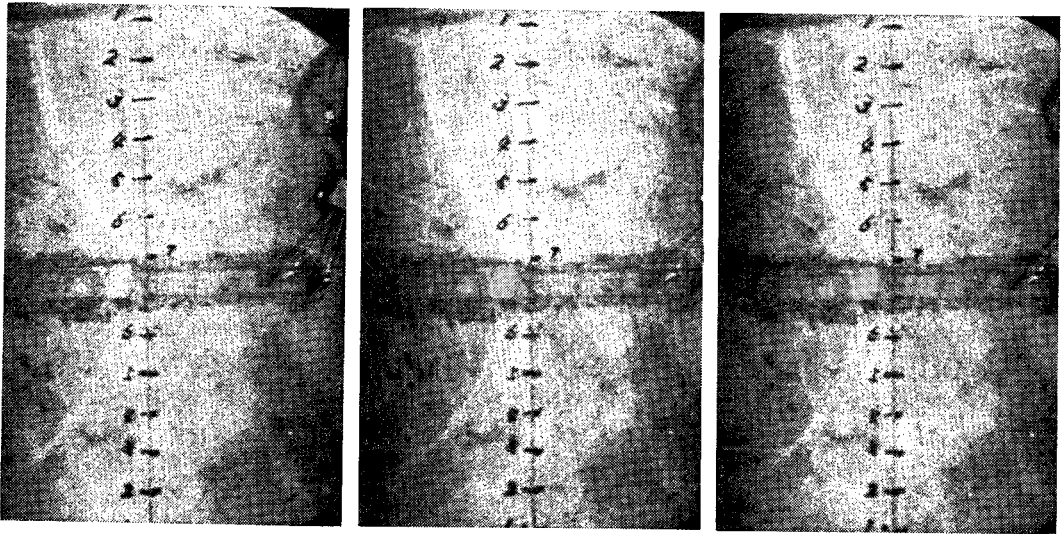
前章で述べたように、すでに公表した事実によって、分布板を用いない圧裂試験における破壊の寸前までの供試体の挙動は相当に明らかになったが、破壊が供試体のどの部分から生ずるか、破壊の生ずる位置によって示される強度が相違するか、等に関しては、十分に明らかにされたとはいえない。これを明らかにするために、圧裂試験中の供試体の端面を高速撮影機を用いて撮影し、破壊直前より破壊に至るまでの供試体の挙動につき検討を加えた。実験に用いた供試体は、直径 15 cm、高さ 15~18 cm のものである。実験にあたっては、この両端面の中心軸に載荷方向と直角方向をなすようひずみゲージを貼付し、ロードセルを介して試験機に据えて通常の方法と同様に載荷した。高速撮影における撮影時間は一般に短く、本実験の場合、これが約 1.8 秒にすぎなかったため、この間に供試体の破壊現象を的確にとらえるためには、撮影開始時刻を適切に定める必要があった。載荷にあたってひずみゲージとロードセルを用いたのはこのためであって、供試体中心軸における引張ひずみの荷重の増加に伴う変化を X-Y レコーダーによって目視し、これが急速に増加する瞬間に撮影を開始したのである。このようにして撮影した破壊の進行状況を写真-1 に示す。なお、いかに細心の注意を払って偏心のないように供試体を据えても、載荷面上の各点のひずみは、両端面の対応する位置で、まったく等しくはならない。このことより、破壊現象が供試体内部で先行し、一端面における現象が供試体全体を代表しないおそれが考えられる。しかしながら、両端面におけるひずみは、若干の時間遅れは存在するものの、ほとんど同じ経過を

たどって変化する。したがって、ひずみの変化が先に生ずる方の端面における現象をとれば、これによって供試体全体の破壊の進行状況を判断して誤りを生じないものと考えられる。写真-1 の結果は破壊が先行した端面におけるものであって、撮影したフィルムを、10~40 コマごとに（約 1/400 秒~4/400 秒ごと）に引き伸したものである。高速撮影の結果から以下のことが認められた。

(i) 高速撮影によって捉えられる最初のひびわれは、供試体の中心軸を含む鉛直面に近く、中心軸より大略  $0.1\sim 0.15d$  離れたほぼ一定の場所に発生する。そして、このひびわれが認められる時期には、載荷点付近にはひびわれはまったく捉えられない。映画撮影による場合、肉眼で発見困難なような微小なひびわれの進展状況を明らかにすることはできないのは当然であるから、写真に捉えられていないような微小ひびわれが破壊の発端となっている可能性を完全に否定することはできない。しかし、撮影にあたって照明を供試体端面に対し約  $30^\circ$  の方向からあてたため、ひびわれ内部にはほとんど光がとどかず、ひびわれは写真上に黒く明瞭に示されているのであって、肉眼で認められる程度のひびわれの進展状況は、これによって十分明らかにされている。また、ひびわれ幅の大小の判定も、写真に捉えられる範囲内で、ある程度可能である。それで、破壊の発端となるひびわれがあれば、厳密な意味でのこの発生の時期からは遅れるとしても、写真上にもこれは最初に現われ、破壊が進行するに従って長さや幅が増大していく状況が撮影されると考えられる。このことより、破壊の発端となるひびわれは、映画によって最初に認められ、供試体の中心軸より  $0.1\sim 0.15d$  離れた部分の載荷面に近い位置に生ずるひびわれと考えてよいと思われる。

この結果は、先に述べた供試体の破壊は載荷点付近における局部破壊によって誘発されるものではないという事実と一致するばかりでなく、破壊直前のひびわれ発生状況と破壊ひびわれとの関係より、ある程度予測される事項とも一致するものである。すなわち、表-1 の結果は、中心軸 $\sim 0.3d$  の範囲に生じた微小ひびわれが破壊ひびわれに発達する確率が高く、この範囲が破壊の発端となる可能性の大きいことを示唆しているのである。

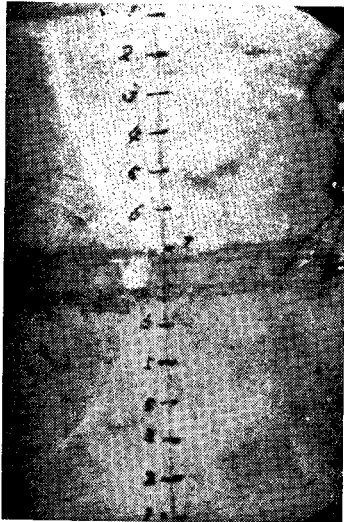
2.(1) で述べたように、圧裂試験における供試体の大部分には、相当に高い荷重段階まで、幅が  $d/15$  の分布荷重が載荷されることとして弾性論によって計算した応力に非常に近い応力が作用している。それで、供試体に理論応力に等しい応力が作用していることを仮定すれば、二軸方向の応力を受けるコンクリートの破壊強度に関する研究成果によって、供試体中のもっとも破壊を生じやすい位置をある程度推定できる。供試体の中心軸を含む鉛



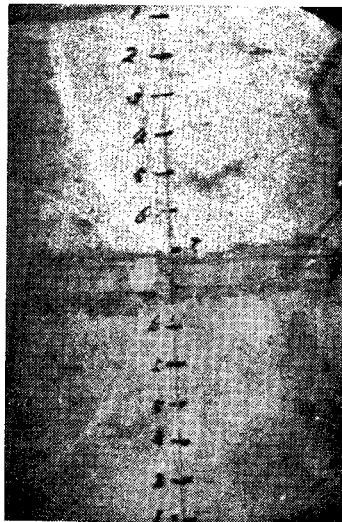
① ひびわれ発生を認める。

② 1/400 秒後

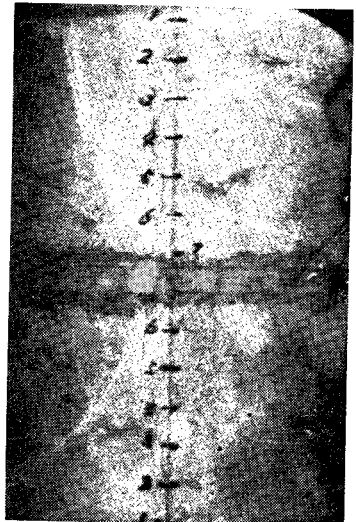
③ 2/400 秒後



⑦ 7/400 秒後



⑧ 11/400 秒後



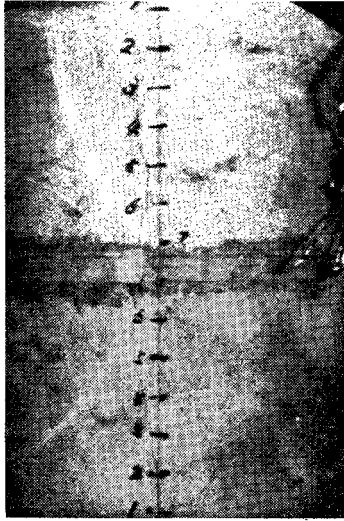
⑨ 15/400 秒後

ひびわれが載荷点間で連続する。

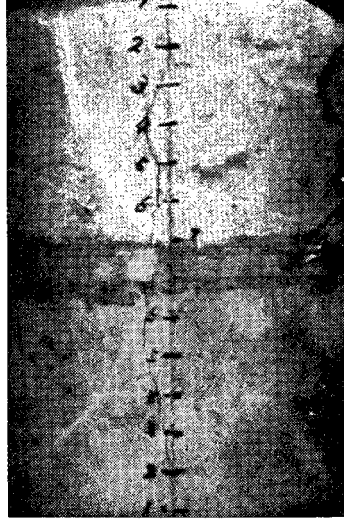
写真-1 高速度撮影の

直面に沿う、面直角方向の引張応力および鉛直方向の圧縮応力の計算値は、図-2 の如くであって、コンクリートには、鉛直面上の各点においてこの図で示される大きさの二軸方向の応力が生じていると考えてよい。このようなコンクリートの破壊強度は、数多くの研究成果が公表されているが、H. Kupper らの成果<sup>7)</sup> がもっとも信頼すべきものと考えられる。H. Kupper らの成果のうちコンクリートの圧縮強度が  $315 \text{ kg/cm}^2$  に対するものを用い（図-3 参照）、載荷面上の各点における破壊強度と中心軸におけるそれとの比を求めれば、図-2 にあわせて示した如くなる。 $315 \text{ kg/cm}^2$  のものを用いたのは、本実験で用いたコンクリートの強度がこの程度であることおよび H. Kupper らの成果によれば各応力状態

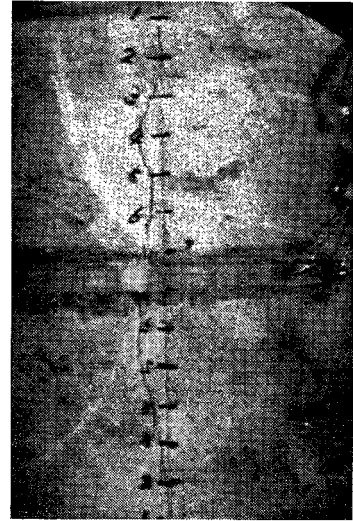
の破壊強度の比には、圧縮強度によって大きな差が認められないことによる。これによれば、ある点における破壊強度がこの点に作用している引張応力を下まわる程度がもっとも著しいのは、 $0.4 \sim 0.35 d$  であるから、この範囲がもっとも破壊を生じやすいと推定できるのである。しかし、この結果は、高速度撮影の結果とは一致しない。この理由は、図-2 の結果が載荷面の応力状態のみに基づくものであって、載荷面を離れた部分の応力状態を考慮に入れていないところにあると思われる。すなわち、弾性論によれば、載荷面を離れた部分における引張ならびに圧縮応力の減少の程度は、中心軸から載荷点に向うに従って著しくなる。それで、この応力の減少の程度からは、より均等な応力状態にある中心軸に近い部



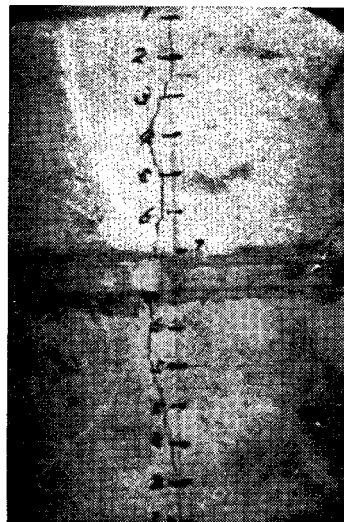
④ 3/400 秒後



⑤ 4/400 秒後



⑥ 5/400 秒後



⑩ 19/400 秒後



⑪ 23/400 秒後

写真上の数字は、供試体の載荷面に沿う両載荷点よりの距離を cm 単位で示したものである。

結果 (分布板なし)

分の方が  $0.35 \sim 0.4d$  付近より破壊しやすいといえるのである。前述のように、供試体には破壊直前の段階ですでにひびわれが生じているから、供試体の応力状態は弾性論によるものと異なっている。したがって、上記の議論を破壊時にそのまま適用し得ないのは当然である。しかし、高速度撮影の結果は、もっとも破壊を生じやすい部分が中心軸より  $0.1 \sim 0.15d$  離れた載荷面付近にあることを示しているのであって、上記の議論をある程度裏付けているのである。

(ii) 最初に認められるひびわれは、時間の経過に伴ってその幅が増大するとともに、上下の載荷点に向かって進展する。このひびわれが認められてから、大略  $1/400 \sim 2/400$  秒経過すると、他の部分に、最初のものと同連続

しないひびわれが認められるようになる。これが最初のもことによって誘発されたひびわれか、これと独立のものかは、写真より判定することが困難であるが、これが認められるまでの時間が最初のひびわれの進展の速さに比べて短かいので、おそらく独立に生じたものと思われる。しかし、写真より明らかなように、後に認められたひびわれの進展状況は最初のものに比べて顕著でないから、供試体の破壊の進行にもっとも支配的な影響を及ぼすのは、最初に認められるひびわれであると考えられる。

さらに時間が経過すれば、別の部分にもひびわれが認められるようになり、いずれも、上下の載荷点に向かって進展する。そしてついにはすべてのひびわれが連続し、載荷点の近傍に到達して破壊に至るのである。最初のみ

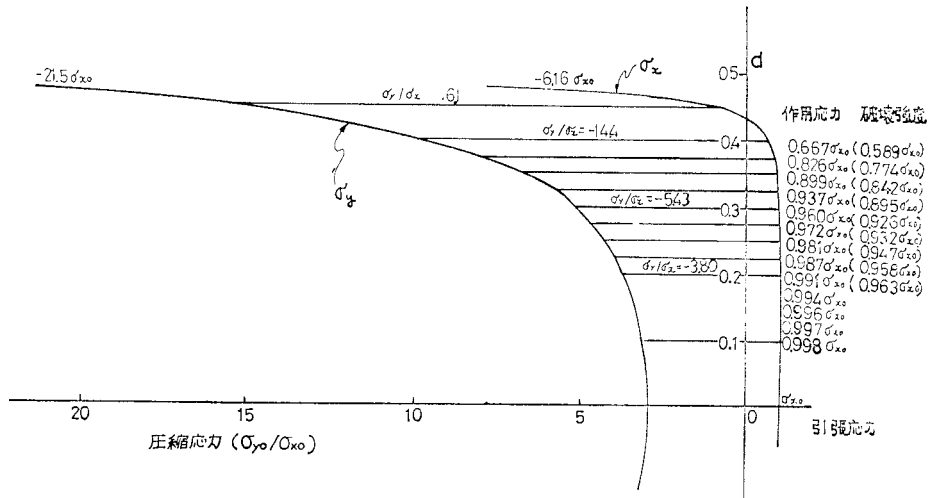


図-2 分布板を用いない圧裂試験における供試体の載荷面上の応力分布ならびに破壊強度

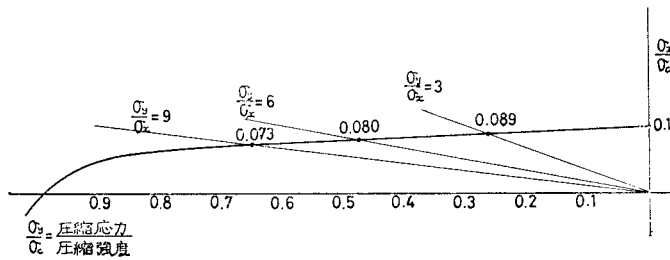


図-3 二軸応力状態のコンクリートの破壊強度<sup>7)</sup>

ひびわれが認められたのち、これが載荷点に到達するまでの時間は供試体によっていくぶん異なるが、本実験の場合、約 7/400~16/400 秒であってきわめて短い。

上記のようなひびわれの進展状況に、破壊直前にすでに微小なひびわれが発生している事実を考えあわせると、圧裂試験における供試体の破壊は、想象以上に漸進的であるといえる。しかし、最初のひびわれが認められてから他の部分に別のひびわれが認められるまでの時間およびひびわれが上下の載荷点間で連続するまでの時間がきわめて短いことは、高速度撮影によって認められる程度のひびわれが発生する段階では、供試体の載荷面に近い各部分では破壊にきわめて近く、耐荷力を失う寸前の状態となっていることを示すものであって、分布板を用いない圧裂試験では、ひずみ速度を制御することなく荷重を増加させる場合、巨視的には、供試体全体が同時に破壊すると考えて誤りではないものと考えられる。

(iii) 供試体の中央部分にひびわれが認められる段階では、載荷点付近にひびわれが認められない事実は、破壊が相当に進行しても変化ないのであって、ひびわれが載荷点間に連続する段階でも、載荷点付近に別のひびわれは認められない。しかし、この段階以後になると、載荷

点から約 1 cm (1/15 d) 離れた円周上から発生し、中央部分に向って進展するひびわれが認められる。圧裂試験を行った供試体の載荷点付近が非常に複雑な破壊状況を示し、この部分が破壊の発端となるという誤解を招きやすいのは、この種のひびわれが発生することが主因と考えられる。上記のように、この種

のひびわれが発生するのは破壊過程の相当後期、すなわち、供試体全体が圧裂荷重に対する耐荷力を失って、左右に分離する直前である。すなわち、この種のひびわれは破壊に伴う二次的な作用で発生するのであって、供試体の本質的な破壊現象には関係が薄いものと考えられるのである。

#### 4. 供試体の挙動に及ぼす分布板の影響

日本を除く諸外国では、供試体と試験機の加圧盤の間に、長さが供試体の長さに等しく、幅が供試体直径の 1/10~1/6 程度の合板その他をはさんで載荷する方法を圧裂試験の標準方法として規定している。分布板を使用すれば、試験中の供試体の挙動は前章までで述べたこれを使用しない場合と相当に相違すると考えられるので、分布板を用いた場合の供試体の挙動に関してさまざまな角度より検討した。

##### (1) 分布板の使用が供試体中の応力分布に及ぼす影響

厚さ 3 mm および 10 mm、幅 d/10 および d/5 の合

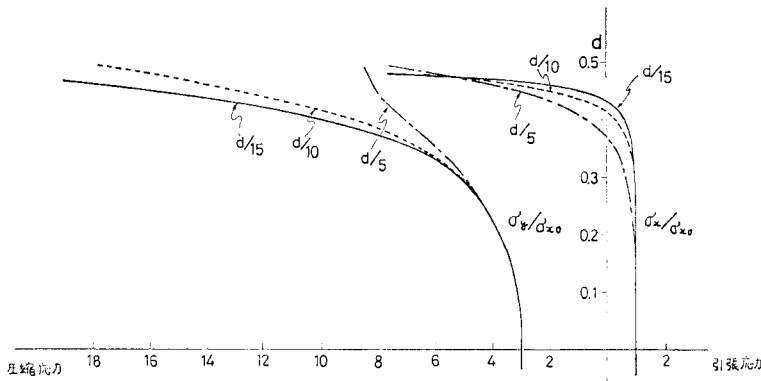


図-4 供試体の載荷面における理論応力

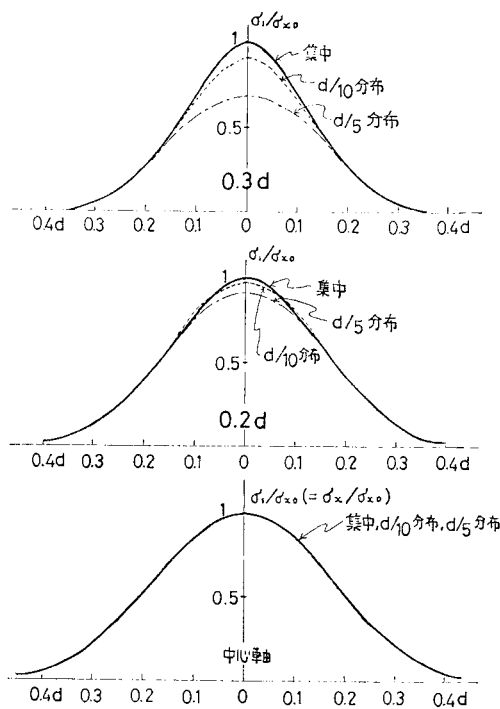


図-5 供試体の水平面上の理論引張主応力

板（普通合板の農林規格を満足する一類合板でラワン合板）を分布板として用いて圧裂試験を行い、供試体端面において、載荷面上の各点の水平ひずみを測定した結果、測定したひずみは、荷重が破壊荷重の80%程度までは、分布板の幅に等しい分布幅の等分布荷重が作用するとして弾性論によって計算したひずみによく一致することが認められた<sup>4)</sup>。このことは、分布板を用いる圧裂試験においても、荷重が破壊荷重に近くない範囲では、供試体の挙動は弾性体に近いことを示すものであって、これにより、供試体に生じている応力も、弾性論による計算値に近いものと考えられる。したがって、分布板を用いる圧裂試験とこれを用いない圧裂試験における供試

体の応力分布の相違は、弾性論による計算応力によって比較することができる。荷重の分布幅が相違する場合の供試体各部の応力の計算結果は、図-4 および 図-5 に示すようである。これによれば、以下の事項が認められる。

(i) 荷重の分布幅が増大しても、載荷面に直角の水平方向の引張応力は、中心軸の位置では変化しない。しかし、これに等しい一様な引張応力の生ずる範囲は、荷重の分布幅が増大するに伴って減少し、載荷点近くで圧縮応力に変化する範囲が増大する。これは、分布板を用いる圧裂試験とこれを用いない圧裂試験の応力分布における重要な相違点である。

(ii) 載荷面上のこれと鉛直方向の圧縮応力も、中心軸においては、荷重の分布幅にかかわらず一定であるが、中心軸から載荷点に向うに従ってこの応力が増大する程度は、分布幅が大きくなるに従って減少する。

(iii) 載荷面を離れた部分における主引張応力は、分布幅が増大するに伴ってより一様となる。すなわち、主引張応力は、載荷面を離れたに従って減少するが、その程度は、分布幅が増大すれば著しくなくなるのである。

荷重が破壊荷重の80%を越えた場合、中心軸より0.4d以上離れた部分において、ひずみの測定値は、理論値と相違し、荷重の増加に伴うひずみの増加量がそれ以前より増加した。しかし、この程度は分布板を用いない場合より著しくなく、分布板を用いる試験方法における供試体の載荷点に近い部分の挙動は、これを用いない場合に比べて、より弾性的であることがうかがわれた。この加圧部の挙動に関する相違は、上記の載荷方向の圧縮応力の相違によるものと考えられる。しかし、すでに述べたように、分布板を用いない圧裂試験の場合、加圧部が弾性的に挙動しないことは試験結果に悪影響を及ぼさないから、この相違はそれほど重大視する必要はないものと思われる。

(2) 分布板の使用が供試体のひびわれ状況に及ぼす影響

幅 d/10 および d/5 の分布板を用いて圧裂試験を行い、供試体の破壊直前におけるひびわれ発生状況を、2.(2)に述べたと同様にして観察した結果、分布板を用いない場合にみられる加圧部の短いひびわれが相当に減少することが認められた<sup>4)</sup>。これは、(1)に述べたように、分布板を用いれば、加圧部における載荷方向の圧縮応力

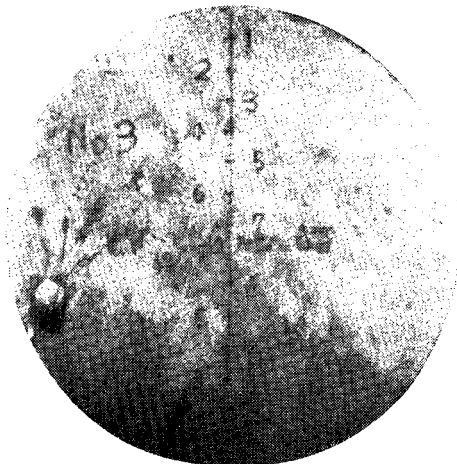
が減少するとともに、これと直角方向の応力が圧縮となる範囲も増大するためと考えられるのであって、加圧部の局部破壊を防止する上で分布板の使用が相当に有効であることがわかる。しかし、すでに述べたように、加圧部の局部破壊は試験結果に悪影響を及ぼさないのであり、また、幅が供試体直径の $\frac{1}{5}$ にも及ぶ分布板を用いても加圧部のひびわれ発生を完全には防ぎ得ないのであるから、加圧部の局部破壊を防ぐために分布板を使用することは無意味であるといわざるを得ない。分布板を使用する意味は、むしろ、供試体の側面に著しい不整がある場合に、試験誤差を少なくする点にある<sup>4)</sup>。

なお、分布板を用いる圧裂試験においても、加圧部のひびわれと独立に中心部にもひびわれが生じ、これが破壊ひびわれと一致する確率が高い。それで、分布板を用いても、供試体の破壊は中心より生ずるものと考えられる。(1)に述べた応力分布より考えれば、分布板を用いる試験の方がこれを用いない試験より、加圧部のひびわれが中心部に向かって進展しにくいことは明らかである。

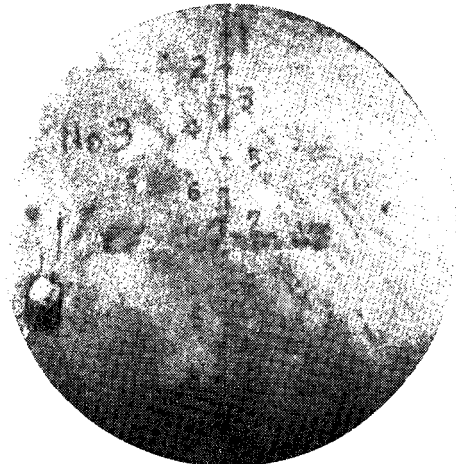
### (3) 分布板の使用が供試体の破壊性状に及ぼす影響

分布板を用いる圧裂試験における供試体の破壊の進行状況を明らかにするため、3.に述べたと同様の方法で高速度撮影を行った。用いた分布板は、幅3cm(=d/5)、厚さ3mmの合板である。撮影されたフィルムを写真に引伸ばした結果は写真-2に示すようであって、これより次のことが認められる。

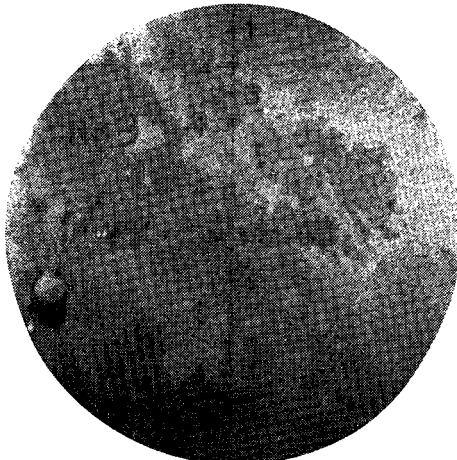
(i) 写真上に最初に認められるひびわれは、中心軸より $1\sim 2d$ 離れた範囲に発生している。3.(2)で述べたように、写真上で最初に認められるひびわれが最初に発生したひびわれとは限らないが、このひびわれを破壊の先導的役割をはたすひびわれとしてよいと考えられる。このように、分布板を用いても、破壊の発端となるひびわれの発生位置は、これを用いない場合と大差ないのである。分布板を用いる場合でも、3.に述べたと同様にして、弾性論および二軸応力状態下のコンクリートの破壊強度によって、もっとも破壊を生じやすい位置を推定



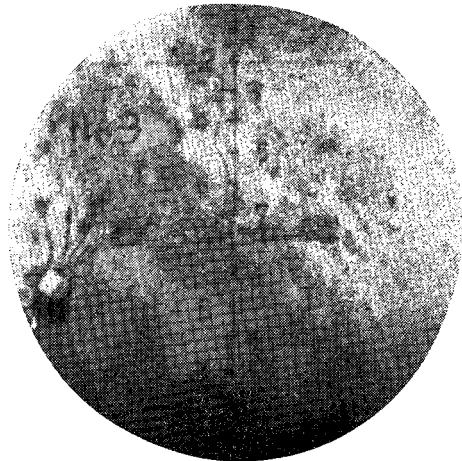
① ひびわれ発生を認める。



② 2/400 秒後

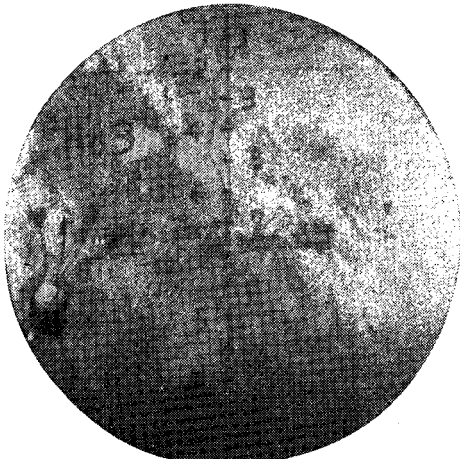


③ 4/400 秒後

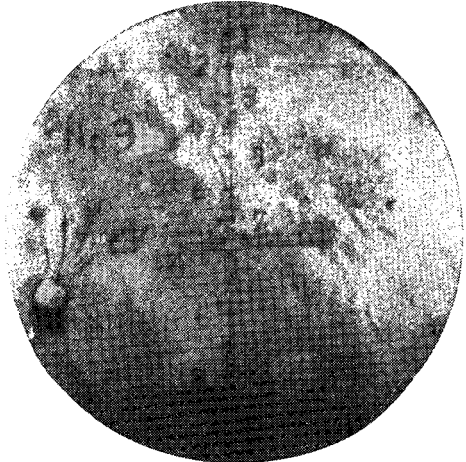


④ 5/400 秒後

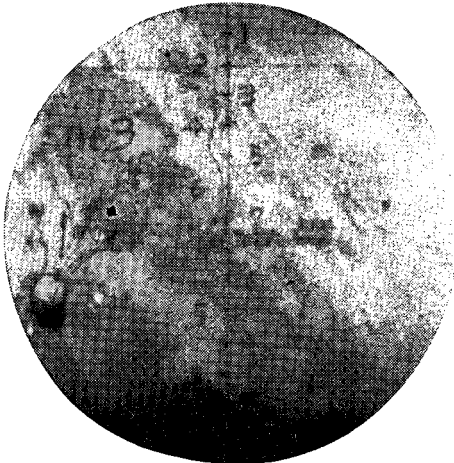




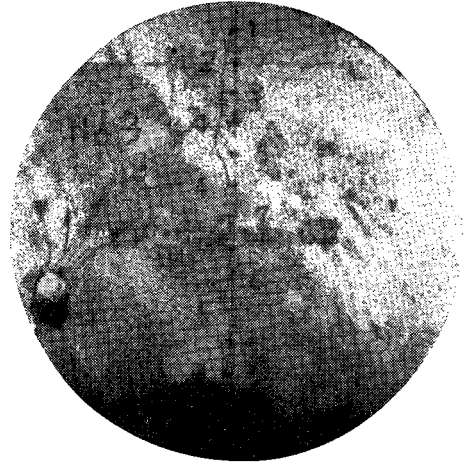
⑤ 7/400 秒後



⑥ 13/400 秒後

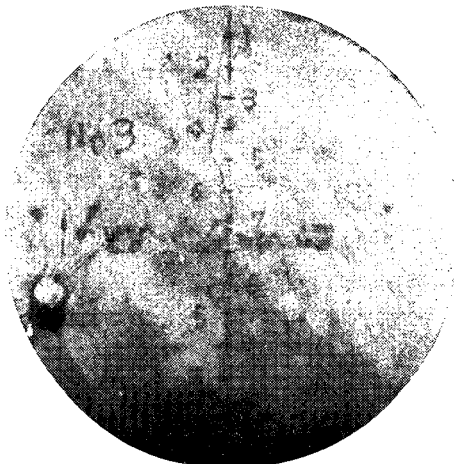


⑦ 24/400 秒後

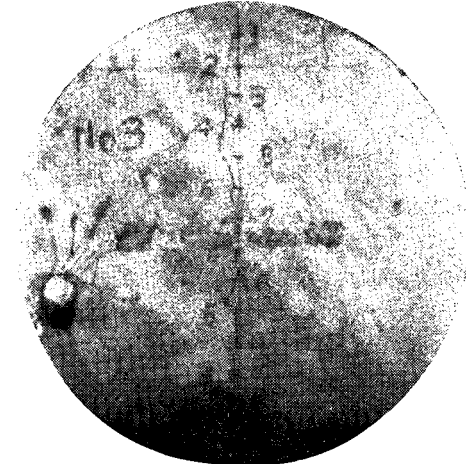


⑧ 49/400 秒後

ひびわれが載荷点間で連続する。



⑨ 61/400 秒後



⑩ 73/400 秒後

写真上の数字は、供試体の載荷面に沿う載荷点よりの距離を cm 単位で示したものである。

写真-2 高速度撮影の結果（分布板を用いる場合）

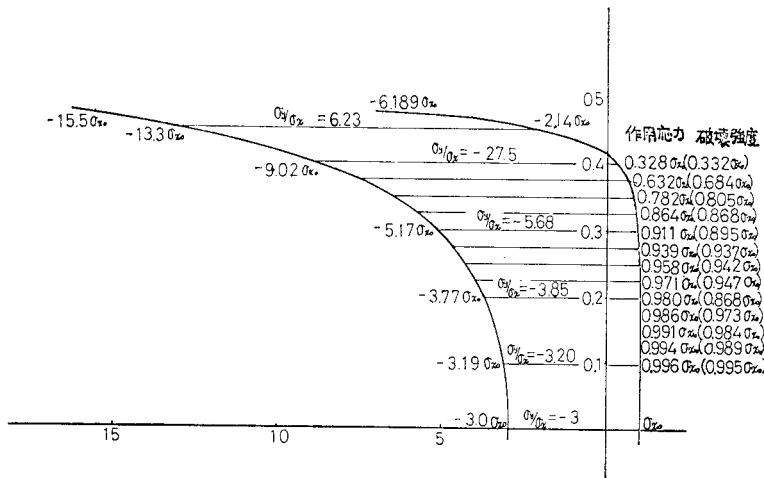


図-6 供試体の載荷面における作用応力と破壊強度の関係 (d/10 の分布板の場合)

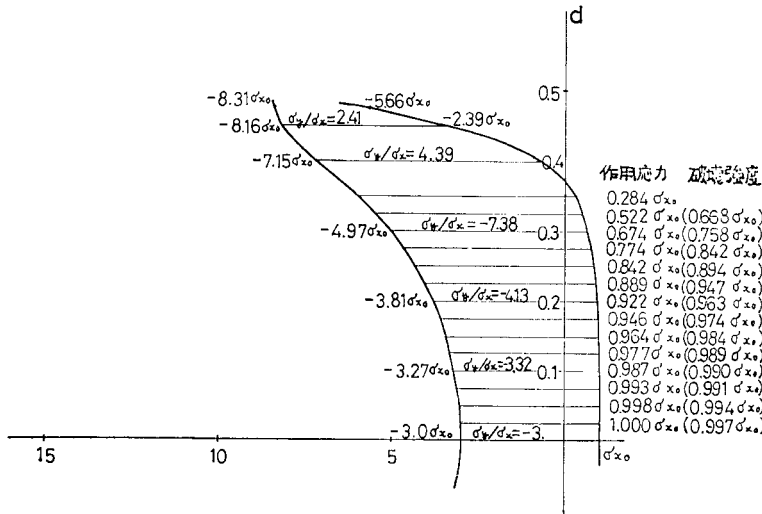


図-7 供試体の載荷面における作用応力と破壊強度の関係 (d/5 の分布板の場合)

できる。この推定の結果は、図-6 および 図-7 に示すようであって、破壊がもっとも生じやすい位置は、d/10 の分布板を用いる場合、0.2~0.25 d、d/5 の場合、中心軸~0.1 d の範囲であることがわかる。本実験に用いた分布板は、厚さ 3 mm のものであったから、荷重の分布幅は d/5 よりいくぶん小さかったと考えられ、したがって、本実験においては、破壊のもっとも生じやすい位置は、上記の推定よりいくぶん載荷点側に寄るものと思われる。すなわち、高速度撮影により認められた破壊の発端となるひびわれの発生位置は、弾性論ならびに二軸応力状態のコンクリートの破壊強度より推定した位置とほぼ一致したものである。

分布板を用いない場合に破壊の発端となるひびわれの

発生位置が推定と一致しないのにかかわらず分布板を用いる場合に一致した理由は、載荷面を離れた部分における主引張応力の减小の程度の相違にあると考えられる。すなわち、分布板を用いる場合、主引張応力が減少する程度は、図-5 に示したように、これを用いない場合より著しくないから、弾性論ならびに破壊強度によって推定される位置に最初にひびわれが発生すると、この位置の載荷面を離れた部分がひびわれ発生によって再分配される応力を受持つ能力が低く、結局これに近い位置で破壊の発端となるひびわれが発生するものと思われるのである。

このように、載荷面をいくぶん離れた部分が再分配された応力を受持つ能力の差が、両者の応力状態に相当な差がみられるにもかかわらず、破壊ひびわれの発生する位置が大差なくなる大きな理由と考えられる。

(ii) 最初に認められるひびわれは、時間の経過に伴って、載荷面にほぼ平行に、上下の載荷点に向かって進展する。このひびわれが認められてから、大略 2/400~4/400 秒経過すると、他の部分にもこれに連続しないひびわれが認められるようになる。後に認められるひびわれ

は、分布板を用いない場合と同様、恐らく最初のもので独立に発生したものと考えられるが、これの進展は最初のものに比べて顕著でないから、供試体の破壊の進行に支配的役割を果たすのは最初のひびわれであると考えられる。さらに時間が経過すれば、ひびわれが連続して載荷点の近傍に到達し破壊に至る。このような破壊の進展状況は、分布板を用いない方法におけるそれと定性的には大差ないが、分布板を用いる場合、最初に認められるひびわれの進展の速さが分布板を用いない場合と比べて遅いばかりか、時間の経過に伴う幅の増加も著しくない。特に、最初にひびわれが認められてから、上下の載荷点間ほぼ連続するまでの時間をみると、分布板を用いない場合、これが約 7/400 秒~16/400 秒であったの

に対し、分布板を用いる場合、約 25/400 秒～49/400 秒と大約 2 倍程度となるのである。破壊の進行状況のこのような相違は、両者における供試体載荷面の応力分布の相違が一因と考えられる。すなわち、図—2, 6, 7 より、分布板を用いる場合の方が用いない場合より、二軸応力をうけるコンクリートの破壊強度が作用する応力より小さくなる範囲がせまくなることが認められるのであって、これが分布板を用いる場合に、ひびわれの進展が遅くなった原因の一つであると考えられるのである。このように、分布板を用いる圧裂試験の場合、供試体の破壊の進展は、これを用いない場合より漸進的であって、供試体全体が同時に破壊するとみなすことにはいくぶんの無理が感じられる。

(iii) 分布板を用いない場合、ひびわれが載荷点間に連続すれば、時間をおかず、その幅は顕著に増大するが、分布板を用いる場合、ひびわれ幅の増大はきわめてゆるやかであって、12/400 秒経過してもひびわれ幅に大きな差は認められないのである。このおもな理由は、分布板を用いる場合、供試体と分布板との間に摩擦が働き、供試体が左右に分離することを妨げることにあると考えられる。このことは、(iv) に述べるさらに時間が経過したのちの供試体の挙動によっても認められる。供試体と分布板との間の摩擦が試験結果に及ぼす影響は明らかではないが、摩擦力は、当然、高速度撮影によって捉えられるようなひびわれが発生する以前にも働いているのであるから、摩擦がない場合に比べてある程度大きな試験結果を示す原因になると考えるのが妥当であろう。なお、この摩擦力は、ひびわれの進展が漸進的である他の一つの原因と思われる。

(iv) ひびわれが載荷点間に連続したのち、載荷点から約 2 cm( $d/7.5$ ) 離れた円周上から発生し、中央部分に向かって載荷方向とほぼ平行に進展するひびわれが認められる。この種のひびわれが認められる事実は、分布板を用いない場合と同様であるが、その後の進展には相当の相違がある。すなわち、分布板を用いない場合、この種のひびわれは載荷面に沿うひびわれに比べて幅の増加が著しくないが、分布板を用いる場合、その幅の増加が著しく、載荷面に沿うひびわれ以上の幅となる。さらに、写真には示されていないが、この種のひびわれはその後載荷面に向かって曲り、ついには載荷面のひびわれに到達するのであって、到達した直後に供試体は左右に二分されて飛び散るのである。このような破壊現象は、供試体と分布板の間に摩擦力が働き、これが供試体が二分されるのを防いでいることの有力な証明と考えられる。なお、分布板を用いる圧裂試験を行っている場合、供試体が分布板を用いない場合より急激に左右に分離する現象がしばしば認められるが、これは、上記のように、供

試体中央部のひびわれが載荷点間に連続し、耐荷力がほとんど失われた後に起こるものであって、分布板を用いる場合の破壊の進行がこれを用いない場合より急激であることを示すものではない。微小ひびわれの発生からひびわれが載荷点間に連続するまでの破壊現象は、(ii) および (iii) に述べたように、分布板を用いる場合のほうがより漸進的なのである。

## 5. コンクリートの圧裂強度と引張強度との関係に関する考察

圧裂試験は引張応力ならびにこれと直角方向より圧縮応力を受ける二軸応力状態で、かつおのおのの応力の大きさならびに両者の割合が場所によって大幅に相違する場合の破壊強度を求めるものであるから、結果が一様な引張応力が一方向から作用する純引張強度と相違するのは当然である。それにもかかわらず、従来より、分布板を用いない圧裂試験の結果は、通常の品質のコンクリートについて試験する場合、純引張試験の結果とほぼ一致することが認められている<sup>8)</sup>。これまでに述べた事項によれば、この理由がある程度推定できる。

高速度撮影の結果によれば、圧裂試験の供試体は、分布板を用いると否とにかかわらず、載荷面上、中心軸より  $0.1 \sim 0.2d$  離れた付近より破壊する。この部分では、水平方向の引張応力 1 に対して、鉛直方向より、 $3.2 \sim 3.8$  程度の圧縮応力が作用している (図—2 参照)。図—3 により、この応力状態におけるコンクリートの破壊強度と圧縮力がまったく作用しない場合の引張強度とを、引張強度をもとに比較すれば、圧縮力が作用する応力状態では、引張強度が約 15% 程度低下することが推定される。すでに述べたように、破壊にきわめて近い荷重段階では、供試体の応力状態は微小ひびわれの発生によって 図—2 と相違していること、および 図—3 の結果はあらゆる強度のコンクリートに対して成立つものではないこと、等により、上記の 15% は概略の値を与えるにすぎないことはいうまでもない。しかし、微小ひびわれの発生から破壊に至る時間が短いこと、および圧縮強度が相違しても圧縮応力の作用による破壊強度の低下の程度には大きな差はないと考えられること、より、図—2 および 図—3 が成立つとした仮定は大きな誤りを生じないと思われる。この考察より、もし、圧裂試験において供試体の各部が引張応力とこれの直角方向から  $3.2 \sim 3.8$  倍程度の圧縮応力が作用している一様な応力状態にあれば、 $\sigma = 2P/\pi dl$  によって引張強度を算出する限り、純引張試験に比べ大約 15% 程度低い強度を示すとしてよいと考えられる。しかし、圧裂試験では、供試体の応力状態は一様でないから、圧裂強度と引張強度

との関係を明らかにするためには、さらに、二軸応力状態下のコンクリートの破壊強度に及ぼす応力が一様でないことの影響を明らかにしなければならない。

分布板を用いない圧裂試験の場合、高速度撮影の結果によれば、供試体の中心軸を含む鉛直面上の各点は、ほぼ同時にその耐力を失うと考えてよい。したがって、この場合には、応力の鉛直方向の分布の影響を考慮する必要がなく、水平方向の分布の影響についてのみ考えればよい。この水平方向の応力分布に限っても、これが破壊強度に及ぼす影響を明らかにすることは容易ではないが、曲げ強度試験において、中央一点載荷法による試験結果が三等分点載荷法による結果より 20~25% 程度大きくなること、および圧裂試験における載荷面を離れることによる応力の減少の程度は曲げ試験の中央一点載荷法によるそれより著しくないと考えられること、を考えあわせれば、圧裂試験における破壊が開始する部分の破壊強度は、水平方向に応力が減少することが直角方向の圧縮応力の作用をほぼ相殺し、純引張強度と大略等しくなることが推定される。それで、分布板を用いない圧裂試験の場合、前記の如く鉛直方向ではほぼ同時にその耐力を失うと考えてよいから、通常の品質のコンクリートについて試験すれば、試験結果は純引張強度に近くなると考えられるのである。

これに対し、分布板を用いる圧裂試験においては、最初に破壊を生ずる部分における応力分布状況は分布板を用いない場合と大差ないが、図—6—7 に示したように、載荷面上の応力分布状況は載荷点に向うに従って破壊強度を下まわる傾向が増している。また、高速度撮影によって、破壊の進展も分布板を用いない場合より漸進的であることおよび分布板と供試体との摩擦が供試体が二分されるのを妨げる恐れのあること、が認められている。これらはいずれも、示される強度が分布板を用いない場合の強度あるいは純引張強度より大きくなることを示している。そして、分布板の幅が大となれば、載荷面上の各点の応力が破壊強度を下まわる傾向が強くなるので、示される強度も増大すると考えられるのである。事実、同じ圧縮強度のコンクリートについて、分布板を用いない方法、 $d/10$  の分布板を用いる方法ならびに  $d/5$  の分布板を用いる方法、によって圧裂試験を行って示される強度を比較した結果、分布板を用いる試験方法は、これを用いない方法と比べて、 $d/10$  の分布板の場合、3~14%、 $d/5$  の場合 14~25% の大きな強度となることが認められたのである<sup>4)</sup>。このように、圧裂試験によって示される強度は、試験方法によって相違するのであって、通常の品質のコンクリートについて試験する場合、分布板を用いない試験方法によれば、純引張強度と大差のない強度が求められると考えられるが、分布板を用いれ

ば、その幅によっては、これより相当に大きな強度が得られるのである。

## 6. 圧裂試験の適用限界

圧裂試験によって材料の引張強度に関する試験ができる限界について検討するため、合成樹脂エマルジョンを混和したモルタルについて各種の強度試験を行った。用いたエマルジョンは、エチレン-酢酸ビニールコポリマーエマルジョンであって、モル比 0.4 : 0.6、樹脂分 55~57% のものである。これを、セメントと細骨材を重量比 1 : 2 で混合したものに所定量混和し、さらに水を加えて水セメント比 50% のモルタルを造って、7日間 21°C 水中で養生したのち、21 日間 21°C 湿度 50% の室内に放置して、圧裂、曲げ、引張 (ASTM C-190 によるいわゆるブリケットを用いた)、圧縮、等の強度試験を行った。試験の結果は表—2 に示すようであって、これより、樹脂の混入量が增大するに従い、圧縮強度は減少し、曲げならびにブリケット強度がいくぶん増大したことが認められる。曲げならびにブリケット強度は材料の引張特性、特に引張強度によって定まる強度と考えられるから、エマルジョンの混和によりモルタルの引張

表—2 引張強度/圧縮強度が大となることが  
圧裂試験結果に及ぼす影響

	圧縮強度 (右の切片)	曲げ強度 ( $4 \times 4 \times 16$ cm)	引張強度 (ブリケット)	引張強度 (圧裂試験)	圧縮強度 ( $\phi 5 \times 10$ cm)
W/C=50% C : S=1 : 2 のモルタル	581 kg/cm <sup>2</sup>	83.1 kg/cm <sup>2</sup>	27.7 kg/cm <sup>2</sup>	37.7 kg/cm <sup>2</sup>	540 kg/cm <sup>2</sup>
	1	1/6.99 1	1/21.0 1/3.00 1	1/15.4 1/2.20 1.36	0.93
W/C=50% C : S=1 : 2 エマルジョン =C×0.5	170 kg/cm <sup>2</sup>	100.9 kg/cm <sup>2</sup>	39.4 kg/cm <sup>2</sup>	33.1 kg/cm <sup>2</sup>	164 kg/cm <sup>2</sup>
	1	1/1.69 1	1/4.32 1/2.56 1	1/5.01 1/3.05 0.84	0.96
W/C=50% C : S=1 : 2 エマルジョン =C×0.4	250 kg/cm <sup>2</sup>	100 kg/cm <sup>2</sup>	36.6 kg/cm <sup>2</sup>	35.9 kg/cm <sup>2</sup>	232 kg/cm <sup>2</sup>
	1	1/2.57 1	1/6.83 1/2.75 1	1/6.96 1/2.81 0.98	0.93
W/C=60% C : S=1 : 2 エマルジョン =C×0.3	259 kg/cm <sup>2</sup>	90.7 kg/cm <sup>2</sup>	43.0 kg/cm <sup>2</sup>	43.2 kg/cm <sup>2</sup>	253 kg/cm <sup>2</sup>
	1	1/2.86 1	1/6.02 1/2.11 1	1/6.00 1/2.11 1.00	0.99
W/C=50% C : S=1 : 2 エマルジョン =C×0.2	432 kg/cm <sup>2</sup>	89.4 kg/cm <sup>2</sup>	40.5 kg/cm <sup>2</sup>	53.2 kg/cm <sup>2</sup>	426 kg/cm <sup>2</sup>
	1	1/4.83 1	1/10.7 1/2.21 1	1/8.12 1/1.68 1.31	0.99

注) 曲げ強度供試体の切片を用いた圧縮強度は 12 個の、他は 6 個の試験値の平均値を示した。

強度は圧縮強度に対して相対的に増大したといえる。これに対し、圧裂強度はエマルジョン混和量の増加に伴って減少している。この圧裂試験の供試体は、いずれの配合のものも、最大荷重に達したのち急激に荷重が低下するとともに、載荷面に沿ってひびわれが上下方向に貫通して破壊した。破壊は相当に穏やかであって、供試体が二分して飛び散るという現象はまったくみられず、破壊後にもその形状を保つものが多かった。この現象を除いて供試体の破壊状況を観察する限り、圧裂試験によって引張強度が試験できるように思われる。しかしながら、強度試験の結果は、上記のように、圧裂強度は引張強度と正の相関があることを示していない。

前章に述べたように、通常の品質のコンクリートについて圧裂試験を行った場合に純引張強度と大差のない強度が得られる理由は、おもに、圧縮-引張の二軸応力状態下のコンクリートの破壊強度が図-3の如き形状となり、かつ、破壊が純引張強度と大差のない破壊強度となる応力状態の部分で生ずることにある。したがって、破壊強度が図-3と相違する材料では圧裂試験によって引張強度を求めることができない。本実験に用いたモルタルは、上記のように、引張強度が圧縮強度に対し相対的に増大しているから、これの二軸応力状態下の破壊強度は、通常の品質のコンクリートのそれと相当に相違していると考えられ、それで上記の如き結果が得られたものと思われる。

表-2より、エマルジョンを混和したモルタルのうち、曲げ強度/圧縮強度=1/4.83のものの場合、圧裂強度/曲げ強度=1/1.63、圧裂強度/ブリケット強度=1.31であって、エマルジョンを混入しないモルタルのそれぞれに対応する値の1/2.20および1.36に近いが、曲げ強度/圧縮強度=1/2.86以上になるとこれらの値がエマルジョンを混入しない場合と相当に相違していくことが示されている。前述のように、曲げ強度ならびにブリケット強度は、おもに材料の引張強度によって定まると考えられるから、これらに対する圧裂強度の比が大差なければ、圧裂強度は引張強度に近いと考えられる。それで、表-2の結果は、曲げ強度/圧縮強度=1/4.83以下の場合には、圧裂試験を引張強度試験として適用でき、1/2.86以上の場合にはこれが適用できないことを示していると思われる。

表-2と同様の実験を繰返した結果、4×4×16cmの供試体を用いて中央一点載荷によって試験した曲げ強度のこの供試体の切片を用いて試験した圧縮強度に対する比が1/4.4~1/4.8になる場合およびブリケット強度の圧縮強度に対する比が1/11~1/15になる場合に、圧裂試験を引張試験として適用できなくなることが示された。このことから、曲げ強度ならびにブリケット強度は

引張強度に比例すると仮定して適用限界に達したモルタルにおけるエマルジョンを混和しないモルタルに対する引張強度の増加率を計算し、さらにエマルジョンを混和しないモルタルの引張強度を圧縮強度の1/11と仮定して、圧裂試験が適用できなくなる限界の引張強度/圧縮強度を求めた結果、引張強度が圧縮強度の1/6~1/8に達すれば適用限界となることが認められた。この推定は大略のめやすを与えるものにすぎない。しかし引張強度が圧縮強度のたかだか1/6程度で圧裂試験が適用できなくなることは注目に値するものであって、圧裂試験の適用範囲は意外に広くないことが認められるのである。

## 7. 結 論

圧裂試験における供試体の挙動を、特にその破壊時において詳細に検討し、分布板を用いない圧裂試験において従来より問題とされていた加圧部の局部破壊が試験結果に及ぼす影響を解明しようとするとともに、分布板の使用が試験結果に及ぼす影響、圧裂引張強度と純引張強度との関係、圧裂試験の適用範囲、等をも明らかにしようとした。広く実用に供されている品質のコンクリートに関して、実験の範囲内で次のことがいえると思われる。

(1) 分布板を用いない圧裂試験では、加圧部が局部的に破壊するため、従来より指摘されているように、荷重は理想的な線荷重とはならず、分布幅が $d/15$ 程度の分布荷重となる。しかし、加圧部を除く供試体の大部分は相当に高度の荷重段階まできわめて弾性的に挙動するのであって、その応力状態も、局部破壊の幅に相当する分布荷重が作用する場合の弾性論による理論応力に近い。弾性論によれば、集中線荷重および分布幅 $d/15$ の分布荷重が作用する場合の応力状態は大差ないから、供試体の大部分に集中荷重が作用する場合の理論応力に近い応力が生じていると考えられる。また、荷重が破壊荷重に近づくにつれ、局部破壊の範囲はいくぶん拡大されるが、加圧部に生じたひびわれは、供試体中心部に向って進展せず、供試体はこれと独立に中心部に生じたひびわれが進展して破壊する。このように、分布板を用いない圧裂試験における加圧部の局部破壊は、供試体の応力状態に悪影響を及ぼさないばかりか、従来より危惧されていたような供試体全体の過早な破壊を誘発するおそれも少ないのである。

(2) 高速度撮影の結果、分布板を用いない圧裂試験の供試体は、中心軸より $0.1\sim 0.15d$ 離れた載荷面近くに最初の破壊ひびわれが発生し、これが $7/400\sim 16/400$ 秒というきわめて短時間の間に上下の載荷点間に連続して破壊に至ることが認められ、また、破壊後にみられる

加圧部のくさび状のひびわれは、破壊の終期に二次的に発生するものであることも認められた。破壊ひびわれが最初に発生する位置は、弾性論によって求めたこの付近の応力分布および圧縮-引張の二軸応力状態下のコンクリートの破壊強度より推定される位置とほぼ一致する。分布板を用いない圧裂試験における供試体の破壊は、このように、一部分に発生したひびわれが他の部分に及ぶという漸進的なものであるが、最初にひびわれが発生した直後に他の部分にもこれと独立のひびわれが発生することおよびひびわれの進展速度がきわめて早いことより、供試体はその載荷面の全域にわたってほぼ同時に耐力を失って破壊すると考えて大きな誤りではないと思われる。供試体の載荷面に沿っては、水平方向の引張応力はほぼ一様であるが鉛直方向の圧縮応力は相当に変化するので、載荷面の破壊強度は各所で相違するはずである。それにもかかわらず上記の結果が得られたのは、載荷面を水平方向に離れた部分の応力分布をも考慮に入れれば、破壊強度が載荷面に沿ってほぼ一様であることを示すものと思われる。

(3) 分布板を用いない圧裂試験においては、最初に破壊ひびわれを生ずる部分の破壊強度はその応力状態より判断してほぼ純引張強度に等しく、また、載荷面に沿う各部の破壊強度は、最初に破壊ひびわれを生ずる部分と大差がないと考えられる。これが、きわめて複雑な二軸応力状態にあるにもかかわらず、圧裂試験によって純引張強度と大差のない強度が求められる理由である。したがって、(5) に述べるように、二軸応力状態の破壊強度が通常の品質のコンクリートと著しく相違する材料に対しては、圧裂強度は引張強度と相関がないが、通常の品質のコンクリートの範囲では、破壊強度を示す包絡線の形状に大差はないと考えられるから、圧裂強度はほぼ純引張強度に等しい強度を示すものと考えられる。

従来、諸外国の例にならって分布板を用いる圧裂試験を採用すべきとの声もあるが、(1) で述べたように分布板を用いないことによる悪影響は少なく、(4) で述べるように、試験結果に、これを用いることによる悪影響が及ぼされないのであって、さらに、分布板を用いないことによる試験方法の簡便さをも考慮すれば、通常の品質のコンクリートについて型わくを用いて造った供試体によって試験する場合、分布板を用いる試験方法は採用すべきでないと判断される。

(4) 分布板を用いる圧裂試験における供試体の破壊の進行は、これを用いない場合に比べて、より漸進的であることが認められた。この理由は、分布板を用いる場合、供試体の載荷面に沿う応力が、載荷点に向うに従って、二軸応力を受けるコンクリートの破壊強度を下まわる程度が増加すること、および、分布板と供試体との間

の摩擦が供試体の破壊を妨げること、にあると考えられる。それで、分布板を用いる圧裂試験によれば、純引張強度よりいくぶん大きな強度が示されると考えられる。この方法を標準方法として規定してしまえば、大きな強度が示されること自体はそれほど重大な問題とはならないが、分布板を用いれば、試験が繁雑となるばかりでなく、上記の結果から予想されるように、幅のみならずその材質についても規定しなければ、試験結果が変動するおそれも生ずる。また、分布板を用いれば加圧部の局部破壊を防ぐうえで相当に有効であるが、(1) で述べたように、局部破壊を防ぐ意義は薄い、したがって、分布板を用いる方法は、一般に、優れた試験方法とはいえないと考えられるのである。分布板を用いて有利となるのは、すでに公表したように、供試体の側面に著しい不整がある場合に、不整による試験誤差が少なくなる点にある。したがって、著しい不整を避けられない場合には、分布板を用いて試験することが望まれる。この場合、示される強度が分布板を用いない場合と相違することに留意しなければならないことはいうまでもない。

(5) (3) で述べたように、二軸応力状態の破壊強度が通常の品質のコンクリートと相違する材料では、圧裂試験によって引張強度を求めることはできない。圧縮強度に対して引張強度を相対的に増加させたモルタルについて各種の強度試験を行った結果、圧裂試験によって引張強度を求め得る限度は、圧縮強度に対する引張強度の比が大約  $1/6 \sim 1/8$  であって、これ以上に引張強度の大きい材料では、圧裂試験を引張強度試験として適用できないことが認められた。圧裂試験はきわめて優れた試験方法ではあるが、これを引張強度試験として適用できる範囲は上記のように意外に狭いから、通常のコンクリートと強度特性を異にする材料にこれを適用しようとする場合、事前の十分な検討が必要とされる。

#### 参考文献

- 1) JIS A 1113: コンクリートの引張強度試験方法, 昭和 51 年 3 月.
- 2) ASTM designation: C 496-66, Standard Method of Test for Splitting Tensile Strength of Molded Concrete Cylinders, 1966.
- 3) Commission Essais des Ciments et des Bétons: Méthode RILEM pour l'échantillonnage, la Confection, la Consévation et les Essais Mécaniques de Béton, Bulletin RILEM N° 30, March, 1966.
- 4) Atsuhiko Machida: Studies on Tests for Splitting Tensile Strength of Concrete, Proc. of JSCE, No. 242, Oct. 1975.
- 5) J. Prescott: Applied Elasticity, Dover Publications, 1961.
- 6) 川本脩万: 応用弾性学, 共立出版社, 昭和 43 年.
- 7) H. Kupper, H.K. Hilsdorf and H. Rush: Behavior of Concrete under Biaxial Stresses, Journal, American Concrete Institute, Aug. 1969.
- 8) 内山 実: コンクリートの引張強度とその試験方法について, 鉄道技術研究所彙報, 第 3 巻 5 号, 昭和 19 年 5 月.

(1977.12.19・受付)